

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 57-057255

(43)Date of publication of application : 06.04.1982

(51)Int.Cl.

G01N 29/04

(21)Application number : 55-132280

(71)Applicant : KAWASAKI STEEL CORP

(22)Date of filing : 25.09.1980

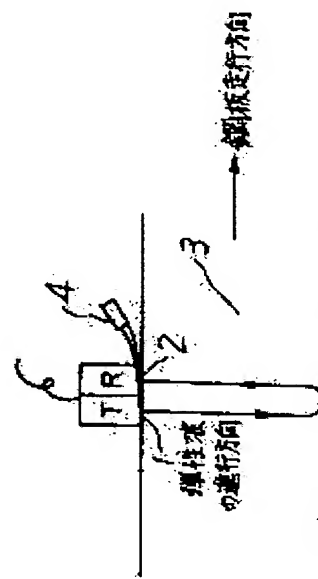
(72)Inventor : KITAGAWA TAKESHI  
MARUYAMA HIDEO  
TAKADA ISAO

## (54) JUDGING METHOD OF MATERIAL CHARACTERISTICS OF THICK STEEL PLATE USING ON-LINE SYSTEM

## (57)Abstract:

PURPOSE: To evaluate average aggregation texture and average crystal grain size quickly and nondestructively by an on-line system, by transmitting a pulse shaped elastic wave in the direction of a plate thickness from the surface and receiving a back echo reflected from the bottom.

CONSTITUTION: A transmitting end 1 and a receiving end 2 are incorporated into a unitary body, and water is supplied into a junction between said body and a steel plate 3 as an acoustic medium from a water nozzle 4. By using such a transmitter T and a receiver R, the pulse shaped elastic wave is transmitted in the direction of the thickness of the steel plate 3 from the transmitting end 1. The back echo from the bottom surface is received by the receiving end 2. The transmission speed and the elastic constant in the steel plate are measured from the transmission time. From these data, the average aggregation organization and the material characteristics based on said aggregation organization in the direction of the plate thickness is measured. Then the energy of the received elastic wave is measured. From the ratio between said value and the energy of the transmitted elastic wave, the average crystal grain size in the direction of the plate thickness of the object to be measured is obtained.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

⑬ 日本国特許庁 (JP)

⑭ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報 (A)

昭57—57255

⑮ Int. Cl.<sup>3</sup>  
G 01 N 29/04

識別記号

庁内整理番号  
6558—2G

⑯ 公開 昭和57年(1982)4月6日

発明の数 1  
審査請求 未請求

(全 5 頁)

⑭ 厚鋼板の材料特性のオンライン判定方法

千葉市磯辺61の5

⑰ 特 願 昭55—132280

⑰ 発 明 者 高田庸

⑱ 出 願 昭55(1980)9月25日

千葉市真砂3—1—4

⑲ 発 明 者 北川孟

⑱ 出 願 人 川崎製鉄株式会社

千葉市大宮町2180—28

神戸市葺合区北本町通1丁目1  
番28号

⑲ 発 明 者 丸山英雄

⑲ 代 理 人 弁理士 杉村暁秀 外1名

明 細 書

1. 発明の名称 厚鋼板の材料特性のオンライン  
判定方法

2. 特許請求の範囲

1. 走行中の厚鋼板を被検体として、その表面から適当な音響媒体を介して板厚方向にパルス状弾性波を打込み、底面から反射したバックエコーを受信する一体の送、受信子を用い、
  - A. 弾性波の鋼板中往復伝はん時間を計測して鋼板中伝はん速度ないしは被検体の板厚方向の弾性定数を求め、被検体の板厚方向の平均的集合組織、さらにはその集合組織に依存する材料特性を判定すること、
  - B. 受信弾性波のエネルギーを計測し、この値と送信弾性波のエネルギーとの比から被検体の板厚方向の平均結晶粒度を求めること、の少なくともいずれか一方を迅速かつ非破壊的に評価することからなる厚鋼板の材料特性のオンライン判定方法。

3. 発明の詳細な説明

この発明は、厚鋼板の材料特性のオンライン判定方法に関し、とくに厚鋼板の板厚方向の平均的集合組織ないしは平均結晶粒度を該鋼板の製造ラインにおける通板中に迅速かつ非破壊的に評価することにより、該鋼板の集合組織や結晶粒度に依存する材料特性をオンラインで的確に判定しようとするものである。

従来から各種の圧延鋼板にあつては、その使用目的や用途に応じて最適の材料特性が得られるように最適条件で圧延される。中でも使用時にか酷な環境にさらされるためとくに高い低温じん性が要求されるラインパイプ用鋼板は制御圧延で製造される。この制御圧延の特徴は、基本的には被処理材を低温で圧延して細粒組織とすることにより、強度の上昇とぜい性—延性遷移温度の低下を図るところにあり、具体的に広く用いられている工程は、予加熱した鋼板を第1次圧延後、引続きAc1点直上までの第2次低温加熱を行つて細粒オーステナイトをつくり、この温度近傍で第2次圧延を

行つてオーステナイト粒をさらに微細化するもので、最終的には極めて細かいフェライト・パーライト組織とするものである。

ところでこの制御圧延材につき、その衝撃特性を求めるためにシャルピー試験などの衝撃試験を行つた際、試験片の破面を観察すると板面に平行な特殊な割れがみられることがある。この割れは一般にセバレーションと呼ばれ、このセバレーションの原因としては

- (1) 圧延方向に伸長した大型介在物の存在、
- (2) 偏折に基く異常組織すなわち針状(アシキュラ)フェライト組織の存在、
- (3) 結晶方位の異方性すなわち集合組織の存在などが指摘されている。これらのうち(3)については、 $\gamma$ 相共存域での圧延加工により、フェライト相が従来から500~800℃における低温域熱間圧延集合組織の優先方位として知られている $\{100\}<011>$ 方位成分が発達することによるものである。

一般に体心立方金属(Bcc金属)は $\{100\}$ 面

ラインにてシャルピー試験やDWT試験などの破壊試験によつて評価せざるを得なかつた。

すなわち鋼板の如き多結晶材料の集合組織の測定は、これまで通常X線回折法によつて行われてきたが、この手法はかなりはん雑なためオンライン測定には活用され難く、加えてその致命的欠陥としてX線の浸入深さに制限があり、被検体の厚み方向約30 $\mu$ mまでの情報しか得られなかつた。もちろん冷延鋼板のようにその集合組織が板厚方向に関しほぼ一定であることにつき、材料特性の面からも多くの実証を得ている場合には、X線回折で測定された集合組織から、結晶方位依存性の強い材料特性の評価は可能であつたが、通常の厚鋼板においては、その板厚方向の集合組織が著しく異なることは周知のとおりであつて、ここに材料を代表し得る集合組織の測定は、従来法で達せられ難いのは明らかである。

しかるに最近、厚鋼板の製造に関して、数多くの操業データの蓄積の下に材質予測を目的とした冷却制御なども実用化の段階にまで進みつつあ

るをへき開面とするので、破壊に際してはこの方位をもつ結晶粒の粒内破壊で割れが伝はんし、上に述べた厚鋼板制御圧延材におけるセバレーション成因の主たるものは(3)の結晶方位の異方性によるとされている。実際鋼板法線方向(ND方向)に平行な $\langle 100 \rangle$ 結晶軸密度すなわちND// $\langle 100 \rangle$ 軸密度をX線回折により測定し、発生したセバレーション総長さとの関係を解析してみると両者には明らかな相関関係がある。すなわちND// $\langle 100 \rangle$ 軸密度が大きいほどセバレーション総長さも大きくなる。そしてこのセバレーションは衝撃試験における延性-ぜい性遷移温度に大きな影響を与え、その発生量(長さまたは数の総和)が大きくなるほど遷移温度は低温側へ移行する。

このようにある種の集合組織とそれに依存する材料特性の関係についてはすでに解明されていたにもかかわらず、集合組織をオンラインで迅速かつ非破壊的に測定する技術が今まで確立されていなかったために、厚鋼板の集合組織に依存する諸特性たとえば上述の如き衝撃特性については、オ

り、かような制御要因としてもとくに板厚方向の集合組織を平均化して、より忠実に材料特性を代表する集合組織がオンラインで迅速に得られることが強く要請されるに至つている。

この発明は上記の要請を有利に満足するもので、厚鋼板の板厚方向の平均的集合組織ないしは平均結晶粒度の少くともいづれか一方をオンラインで迅速かつ非破壊的に評価してそれらに依存する材料特性の的確な判定を可能ならしめたものであり、さらにはこの判定結果を加熱および圧延加工などの製造条件にフィードバックして設定値からの偏差を修正することにより、全長にわたつて均質かつ所望の特性を有する厚鋼板の製造に役立てようとするものである。

すなわちこの発明は、走行中の厚鋼板を被検体として、その表面から適当な音響媒体を介して板厚方向にパルス状弾性波を打込み、底面から反射したバックエコーを受信する一体の送、受信子を用い、

A. 弾性波の鋼板中往復伝はん時間を計測して

鋼板中伝はん速度ないしは被検体の板厚方向の弾性定数を求め、被検体の板厚方向の平均的集合組織、さらにはその集合組織に依存する材料特性を判定すること、

B. 受信弾性波のエネルギーを計測し、この値と送信弾性波のエネルギーとの比から被検体の板厚方向の平均結晶粒度を求めること、

の少くともいずれか一方を迅速かつ非破壊的に評価することからなる厚鋼板の材料特性のオンライン判定方法である。

さて集合組織を一義的に解析するためには、三次元結晶方位分散関数 (Three-dimensional Orientation Distribution Function, 以下ODFと略記する) がよく用いられ、とくに結晶粒が微細でかつ分散方位成分の多い多結晶板の集合組織はODF表示によらねばならない。このODF表示による多結晶体の弾性定数の平均化した異方性係数： $r_m$ は、下記(1)式

$$r_m = 4\pi^2 \sum_{\ell=0}^{\infty} \sum_{m=-\ell}^{\ell} \sum_{n=-\ell}^{\ell} G_{\ell mn} W_{\ell mn} \dots\dots\dots (1)$$

単調減少し、 $G$ は単調増加する。この傾向は試料座標系における任意の方向についてみられるものである。

一方、従来の解析結果から、衝撃破断による破面のセバレーション総長さと板面法線方向：NDの $\langle 100 \rangle$ 結晶軸密度すなわちND// $\langle 100 \rangle$ 軸密度との関係は、第3図に示したような比例関係にあることが確かめられている。

従つて成分組成が異なる数グループ毎に弾性定数と平均的異方性係数 $r_m$ との関係を求めておけば、弾性定数の測定結果から異方性係数を求めることが可能であり、さらに異方性係数から鋼板の集合組織およびそれに依存する材料特性を推定することも可能となる。

しかしながら元来集合組織の測定は材料特性の予測を最終目標とする場合が多いので、弾性定数を必要な他の材料特性と関係づける方がより直接的である。

そこで弾性波を用いて弾性定数を測定し、この測定値とセバレーション総長さとの関係について

ここで $W_{\ell mn}$ ：ODFの展開係数、 $G_{\ell mn}$ ：単位結晶方位弾性係数の異方性係数をODF同様、球面調和関数に展開したときの展開係数。で与えられる。すなわち $r_m$ は、 $W_{\ell mn}$ の一次結合という形で集合組織依存性を示す。

ここで種々の集合組織をもつ多結晶鋼板および単結晶につき $\langle 100 \rangle$ 方向および $\langle 111 \rangle$ 方向の弾性定数( $E$ ：ヤング率、 $G$ ：剛性率)を実測し、 $r_m$ について整理した結果を第1図に示す。

鋼板の弾性定数は $r_m = 0$  ( $\langle 100 \rangle$ 方向の値)、 $r_m = 1/3$  ( $\langle 111 \rangle$ 方向の値)の範囲に存在し、ヤング率 $E$ はその間で単調増加、剛性率 $G$ はその間で単調減少する傾向を示す。この傾向は、単結晶につき種々の方位に関して計算した値と一致する。

次に集合組織の種々に異なる鋼板について、一定方向たとえば圧延方向：RDにおける $E$ および $G$ を実測し、これらの実測値とRD方向の $\langle 100 \rangle$ 軸密度すなわちRD// $\langle 100 \rangle$ 軸密度との関係を整理した結果を第2図に示す。

RD// $\langle 100 \rangle$ 軸密度が大きくなるに従つて $E$ は

調べた。

弾性定数の測定は走行中の鋼板に弾性波振動子を取り付け、鋼板の板厚方向にパルス状弾性波を打込み、底面から反射したバックエコーを送信子と一体とした受信子にて受け、弾性波の鋼板中往復伝はん時間から鋼板中における弾性波の伝はん速度を算出することによつて達せられる。たて波の伝はん速度： $v_L$ 、横波の伝はん速度： $v_t$ はそれぞれ次式で与えられる。

$$v_L = \left[ \frac{E}{\rho} \left\{ \frac{1-\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} \right\} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (2)$$

$$v_t = \left[ \frac{G}{\rho} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (3)$$

ここで  $\nu$ ：ポアソン比、 $\rho$ ：鋼板の密度、

厚鋼板の弾性定数を測定するためには(2)、(3)式のいずれを用いてもよく、鋼板中のたて波と横波の伝はん速度はそれぞれ $v_L$ ：約6000 m/sec、 $v_t$ ：約3200 m/secと大幅に異なるので両波は明確に区別して受信できる。

第4図に測定方法の一例を示す。

送信子 T としてはたとえば Y カット水晶発振子が適合する。送信端 1 と受信端 2 とは一体とし、いずれも鋼板 3 の表面との間をそれぞれ音響的に結合させるため給水ノズル 4 から水を音響媒体として供給する。このような一体構造の一对の送、受信子 T, R を用い、送信端 1 から鋼板 3 の板厚方向に弾性波を打込み、底面からのバックエコーを受信端 2 で受信し、その間の伝はん時間から鋼板中における弾性波の伝はん速度を計測するのである。なお弾性波としては、パルス幅 5 マイクロ秒以下のパルス波を用いた。

前掲 (2), (3) 式に示したように弾性定数は伝はん速度の 2 乗に比例する。そこでセバレーション総長さと弾性定数との関係につき種々の実験を行つて得た結果を、セバレーション総長さと伝はん速度の 2 乗との関係として整理して第 5 図に示した。

セバレーション総長さは、 $v_L^2$  が小さくなるほどまた  $v_T^2$  が大きくなるほど大きくなる。すなわちヤング率 E が小さくなるにつれて、また剛性率 G が大きくなるにつれて高い値を示す。

定に有効に寄与する。

以上述べたように集合組織ないしはその集合組織に依存する材料特性の一義的な解析を行う場合には、前述した ODF を適用しなければならないが、通常は便宜上二次元解析法が用いられることが多く、この二次元解析法としては、正極点図と逆極点図がある。前者は試料座標系 (RD, TD, ND 方向) を基準とし、 $\{h, k, l\}$  結晶面の強度分布を測定するものであり極密度関数とも呼ばれる。後者は軸密度関数とも呼ばれ、これは結晶座標系 (BCC 金属の場合は、 $[100]$ ,  $[010]$ ,  $[001]$  の直交三軸) を基準とし、試料座標系における特定方向 (たとえば ND 方向) の  $\langle h, k, l \rangle$  軸密度を知る方法である。

ところで逆極点図解析によるたとえば ND //  $\langle h, k, l \rangle$  軸密度からは鋼板の面内異方性を知ることとはできない。同じくこの発明に従う方法も ND //  $\langle h, k, l \rangle$  軸密度に関する特性値を測定するものであるから被検体鋼板の面内異方性を検知することとはできない。従つて面内異方性の及ぼ

かくして弾性波の鋼板中伝はん速度ないしは弾性定数を計測することにより、オンラインにて該鋼板の集合組織に依存するセバレーション総長さを判定でき、さらにはこの判定結果から該鋼板のぜい性-延性遷移温度を推定することもできる。

一方、鋼板の結晶粒は、一般に波動伝はんのモザイク構造効果と同様の影響を弾性波に対しても与える。すなわち結晶粒が大きくなるほど鋼板伝はん中に弾性波の非弾性散乱分が増大し、受信子にて受信するエネルギーは減少する。また弾性波の振幅の 2 乗がそのエネルギーに比例することは周知の事実であるから、これらを基に送信波のエネルギー:  $A_t^2$  ( $A_t$  は送信波の振幅) と受信波のエネルギー:  $A_r^2$  ( $A_r$  は受信波の振幅) との比  $(A_r/A_t)^2$  から板厚方向に平均化された結晶粒径を求めることができ、その関係は第 6 図に示したとおりであつた。

このように送、受信波のエネルギー比を計測することにより被検体の板厚方向の平均結晶粒度を求めることができ、これは被検体の低温じん性の判

断影響については評価できない。

しかしながら弾性波としてパルス幅 5 マイクロ秒以下のパルス波を用い、これを制御圧延にて製造された板厚 5 mm 以上の鋼板の板厚方向に打ち込んだ場合は、被検体鋼板の面内異方性にかかわりなく、ND //  $\langle 100 \rangle$  軸密度が、0 から 10 X (X: ランダム試料の強度値) の範囲で、セバレーション総長さと良い相関が得られた。なおこの場合に衝撃試片において測定されたセバレーション総長さは 0 ~ 1 mm/mm<sup>2</sup> の範囲であつた。

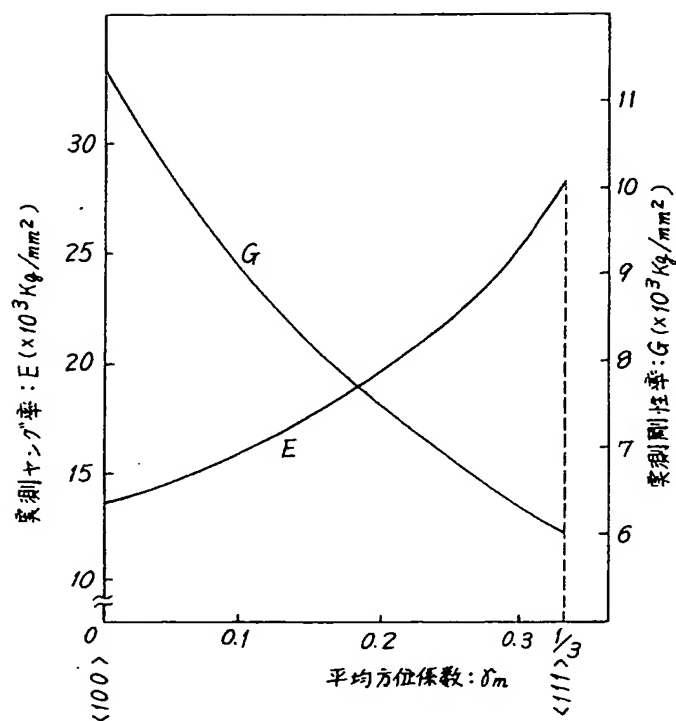
かくしてこの発明によれば、厚鋼板の板厚方向の平均的集合組織ないしは平均結晶粒度をオンラインで迅速かつ非破壊的に評価して、これらの集合組織や結晶粒度に依存する材料特性を的確に判定することができ、ひいてはこの判定結果を鋼板の製造条件のフィードバック制御に利用することにより品質の高度の管理と保証が有利に達成される。

#### 4. 図面の簡単な説明

第 1 図は弾性定数の平均異方性係数  $r_m$  と弾

性定数との関係を示したグラフ、第2図は鋼板のRD//<100>軸密度と弾性定数の関係を示したグラフ、第3図は鋼板のND//<100>軸密度とセパレーション総長さの関係を示したグラフ、第4図は弾性定数測定要領の説明図、第5図は鋼板中弾性波伝はん速度とセパレーション総長さとの関係を示したグラフ、第6図は送、受信波のエネルギー比と板厚方向平均結晶粒度との関係を示したグラフである。

第1図

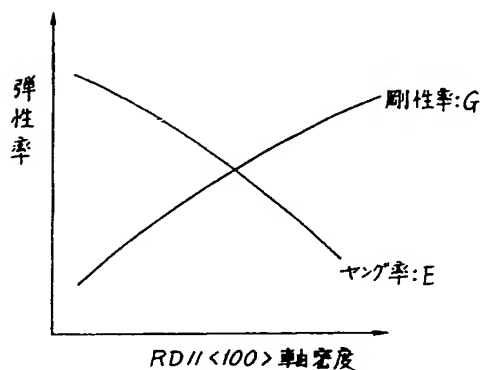


特許出願人 川崎製鉄株式会社

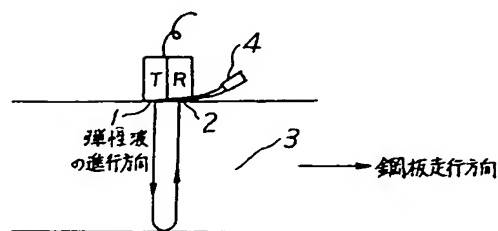
代理人弁理士 杉 村 曉 秀

同 弁理士 杉 村 興 作

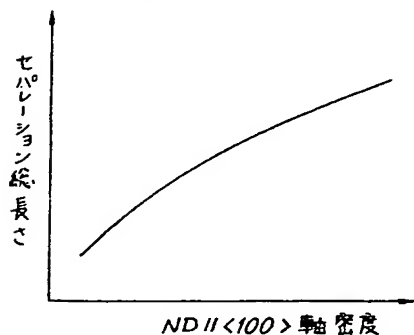
第2図



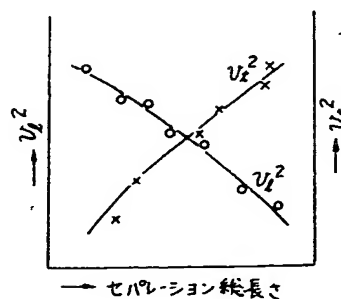
第4図



第3図



第5図



第6図

